

公路隧道洞口景观构景元素分析

刘佳¹, 何乔², 苏恩杰¹, 同月苹¹

(1. 长安大学公路学院, 陕西西安 710064; 2. 贝尔福-蒙贝利亚技术大学信息学院, 贝尔福 90000)

摘要: 为了明确景观在隧道工程领域的研究和应用现状,对洞口景观构景元素进行了系统梳理,分析了构景元素的具体表现形式并提出了相应的设计建议。结果表明:隧道洞门类型决定了洞口景观设计的整体风格,借助洞门装饰、肌理、颜色、亮度、线型等元素的整体表现发挥洞门外观的构景效果;经过暗化和柔化处理的洞门墙面,可以减少对光线的反射,降低洞口亮度,减缓洞门压迫感;洞口绿化通过生态防护和栽植绿化达到生态修复和美化环境的目的,借助植物自身的吸光能力和低反射率对洞口进行减光处理,营造舒适的行车环境,是目前公路隧道景观设计的主流;洞口铭牌、小品建筑、彩色路面等诱导系统具有信息导向作用,通过造型、色彩、位置及风格的合理设置能够正确发挥视线诱导功能,提高驾驶人注意力;考虑地域文化以及与周围环境协调性的洞口景观设计可以缓解驾驶人心理紧张感,提高安全性和舒适性。

关键词: 公路隧道;洞口景观;构景元素;环境;文化

中图分类号: U453.1

文献标志码: A

Landscape Elements Analysis of Highway Tunnel Entrance

LIU Jia¹, HE Qiao², SU Enjie¹, TONG Yueping¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. School of Information, University of Technology of Belfort-Montbéliard, Belfort 90000, France)

Abstract: In order to clarify the research and application status of landscape in tunnel engineering, the landscape elements of tunnel entrance were systematically sorted out, the specific expressions of landscape elements were analyzed and corresponding design recommendations were proposed. The results show that the type of tunnel portal determines the overall style of the landscape of tunnel entrance. The overall performance of portal decoration, texture, color, brightness, line type, etc. has

a great influence on the landscape effects of portal appearance. The darkened and softened portal wall may reduce the light reflection, decrease tunnel entrance brightness, and relieve portal oppression. Greening at the entrance can restore the ecology and beautify the environment through ecological protection and planting. The light-absorbing ability and low reflectivity of plants may reduce the light at the entrance. The greening creates a comfortable driving environment, which is currently the mainstream of highway tunnel landscape design. The guiding system such as entrance nameplates, sketch buildings, and colored pavements has an information-oriented function. Through reasonable settings of shape, color, location, and style, the sight-inducing function can be correctly used to improve drivers' attention. The landscape design at the entrance that considers the regional culture and the coordination with the surrounding environment can relieve drivers' psychological tension and improve safety and comfort.

Key words: highway tunnel; entrance landscape; landscape element; environment; culture

洞口作为公路隧道结构唯一外露部分,与自然
环境紧密相连。将洞口结构与景观设计有机结合是
隧道整体规划的重要内容,一方面改善公路隧道行
车环境,提高驾驶安全,另一方面推动环保与人本理
念的持续发展^[1-2]。

20世纪90年代,日本发表的《隧道洞口景观设
计研究》和《隧道洞口的景观设计方法》主导了近些
年隧道洞口景观的研究方向^[3]。熊光荣^[4]1991年提
出隧道洞口位置的选择与洞门式样要统一考虑,并
将美学渗入到隧道洞门设计中;关宝树^[5]将景观设
计概念引入到隧道洞口结构设计中,以此作为隧道

收稿日期: 2023-02-04

基金项目: 国家自然科学基金(52078046)

第一作者: 刘佳(1987—),女,博士生,主要研究方向为隧道及地下工程。E-mail: liujialari@163.com

通信作者: 何乔(1997—),男,工程师硕士,主要研究方向为信息系统和地下结构绿色及安全设计。

E-mail: qiao.he@utbm.fr



论文
拓展
介绍

规划设计的重要内容之一;熊世龙^[6]认为洞门建筑要融于自然环境,将洞门规划、方案比选、装饰应用和洞门前处理等进行统一设计;关向群^[3]将层次设计中的“点、面、线”模式应用到洞口景观设计中,编制了洞口景观数据库,并以此为基础建立了洞口景观实用设计方法;叶飞^[7]基于大量典型公路隧道洞口景观案例,分析了洞口景观的构造方式和构景效果,认为洞门的安全作用和景观功能休戚相关;贾玲利等^[8-9]阐述了我国在隧道洞口绿化和景观评价方面研究的不足,提出了隧道洞口绿色景观概念,建立了包含目标层、准则层和指标层的洞口绿化评价体系,并运用该体系对洞口绿化景观进行综合评价和等级划分;黎明^[10]探讨了公路隧道洞口景观艺术设计的原理和方法,研究了装饰艺术形式的美学价值。近几年,研究人员逐渐关注使用者本身(即驾驶人)对景观效果的感知和评价,基于驾驶人的生理、心理及行为特征对洞口景观的安全性和舒适性开展研究。Duan^[11]利用生理记录仪分析了隧道洞口颜色对不同行驶速度下驾驶员心率的影响;申振武^[12]建立了隧道洞口绿化形式与驾驶人心理变化之间的量化关系,随着洞口绿化程度加深,驾驶人心理负荷逐渐降低;叶飞^[13]利用眼动指标探究了洞门肌理、洞口绿化、洞门颜色和洞门线型对洞口景观设计舒适性和安全性的影响,并从美学角度提出了洞口景观优化建议。

综上所述,对公路隧道洞口景观的研究主要集中在设计原则和方法上,且取得了一定的成果,初步探讨了洞口景观在驾驶安全性和舒适性中的功能及作用。然而,目前我国公路隧道洞口景观环境依然存在洞口位置不突出、洞门颜色亮度高而增加洞内明暗适应过程、夸张的装饰元素分散驾驶注意力、洞口景观缺乏次序感、构景元素协调性和统一性不足等问题。基于此,本文对我国公路隧道洞口景观现状进行研究,重点分析了各构景元素的具体表现形式及功能特征,以期为提出科学合理的公路隧道洞口景观设计与评价提供参考。

1 “景”元素的构成

构景元素是公路隧道洞口景观设计的形态本质,在时间和空间分布上存在有序性和差异性:各构景元素在视觉识别空间上存在前后、上下、左右等关系,在形体和颜色上表现出差异性和一致性,在时间上呈现出同步性与交错性,各元素间既彼此独立又

相互联系,形成了一个多层次化的复杂空间体系^[14]。通过查阅公路隧道洞口景观研究相关文献及设计资料,梳理出景观元素的基本构成,如图1所示。

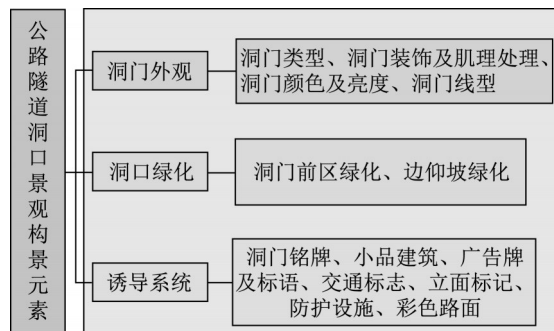


图1 隧道洞口景观元素构成

Fig. 1 Composition of landscape elements of tunnel entrance

2 “景”元素的表现形式

2.1 洞门外观

2.1.1 洞门类型

隧道洞门从结构类型上分为:墙式洞门、突出式洞门和特殊式洞门^[5-7]。

墙式洞门根据端墙形式分为直线形、曲线形(拱翼式)、台阶式、翼墙式、柱式、城堡式等,包含对称和非对称两种形式。面积较大的端面墙壁通过色彩和装饰手法进行个性化设计,对周围景观环境起到积极作用^[6]。立柱和城堡设计往往成为视觉的焦点,给人不是钻山洞而是穿城门进闹市之意境(图2)。



图2 嘎拉山隧道洞口

Fig. 2 Entrance of Galashan Tunnel

突出式洞门强调结构的立体形状,以直削和斜削的形式占主流,常见削竹式(图3a)、喇叭口式(见图3b)和环框式。突出式洞门设计朴素,与周边环境、山体形态融为一体,在处理洞口明暗过渡问题中发挥重要影响^[15]。洞口环衬色彩突出,成为视觉焦点,能够明确洞口位置及空间尺寸,诱导驾驶人正确

进入隧道。



a 新疆赛里木湖隧道洞口 b 乌鞘岭四号隧道洞口

图3 突出式洞门

Fig. 3 Protruding portal

特殊式洞门有棚洞式(图4a)和遮光栅式(图4b)。特殊式洞门从建筑结构角度对洞口进行减光处理,通过设置减光格栅缓解了由于洞内外亮度突变引起的短暂性视力功能下降,同时降低了入口处亮度增强的能源损耗^[16]。影响入口处减光格栅长度的主要因素有洞外亮度、洞内亮度,以及驾驶人视力恢复时间等,入口处减光格栅长度一般大于出口

处^[17];此外,部分棚洞式洞门因其结构特殊性,需要考虑风荷载作用下受力不均的问题,在进行格栅间距设置时应避免眩光^[18]。



a 南京老山隧道洞口 b 上海长江隧道洞口

图4 特殊式洞门

Fig. 4 Special portal

2.1.2 洞门装饰及肌理处理

洞门装饰借助材料、造型、颜色、绿化等艺术创作手段,赋予隧道洞门美学价值。常见装饰手法有:建筑式装饰、浮雕式装饰、雕塑式装饰、造型式装饰、贴面式装饰和弱化式装饰等^[10],见表1。

表1 常见洞门装饰手法

Tab. 1 Decoration method of tunnel portal

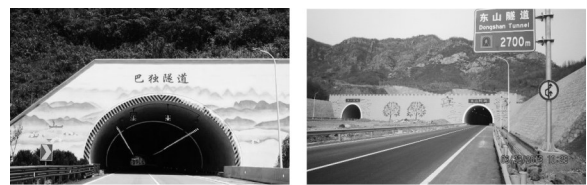
装饰类别	特征
建筑式	利用仿建筑的艺术装饰,常见于柱式和城堡式洞门,凸显建筑神韵。
浮雕式	富有人文、历史和自然环境等主题色彩,多用于端墙式洞门。
雕塑式	通常装饰洞门上方和侧方,施工难度大、成本较高,应用较少。
造型式	改变端墙外形,如直线形、曲线形和台阶形等变化,墙身采用统一装饰,达到自然肌理效果。
贴面式	采用多种外墙贴面材料,通过材料肌理和颜色搭配美化端墙壁面。
弱化式	常见突出式洞门,弱化洞门装饰,仅用涂料和贴砖装点洞门突出部位。

肌理处理一方面利用材料本身特点谋求变化,另一方面可用人工的方式“创造”肌理效果,常见形式有壁画、横竖条纹或无肌理。壁画装饰有利于提升驾驶舒适性,但过于精致和色彩对比强烈的壁画装饰又会分散驾驶人注意力^[19-20]。在进行洞门装饰时,应使用反射比低、定向度低的漫反射饰面材料,结合肌理处理,可降低洞口亮度、减轻洞门的压迫感。

2.1.3 洞门颜色及亮度

洞门颜色是驾驶人最易感知的构景元素,与材质或饰面材料有关,有单色和多色两种形式。单色一般是无饰面或采用单一的材料对洞门进行装饰,宜采用深暗色,在植被常年茂盛地区亦可在墙面设爬藤类植物,对洞口进行减光处理^[21];为使设计与周围环境协调一致,洞门主色调应使用接近自然的颜色,如洞口植被丰富的地方使用浅青瓷(图5a),黄土裸露的地方使用赭色、浅棕色、深棕色、浅青瓷、深蓝色、灰色等(图5b);多色通常进行调色设计,形成具有对比、突出和强调的特点,颜色的设置不宜过多,

宜控制在两种左右,避免危险和不确定的模糊色^[22]。



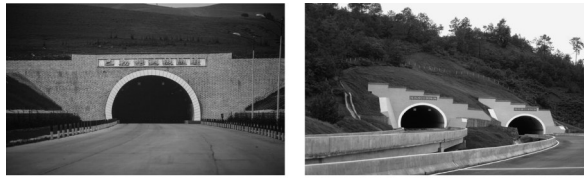
a 巴独隧道洞口 b 东山隧道洞口

图5 洞门颜色与自然环境相接近

Fig. 5 Portal color close to natural environment

洞口亮度影响驾驶人进入隧道后视觉能力的调节时间,为了使驾驶人尽快识别洞内路况,对洞门墙面进行暗化和柔化处理,减轻反射光线对驾驶人的刺激^[21],如图6a所示。洞口亮度对驾驶人速率也产生一定影响,当亮度提高时,驾驶人的平均速率增加,但增加速度缓慢^[22]。因此,在不引起视错觉的情况下,局部使用较高亮度的强调色,与周围环境形成对比,发挥警示、引导和缓解作用,有利于提高驾驶人的注意力^[11],如石地坪一号隧道端墙顶部为红色,

洞口环框为亮白色(图6b)。



a 巴勒根达板隧道洞口 b 石地坪一号隧道洞口

图 6 洞门亮度的整体弱化与局部强调

Fig. 6 Overall weakening and local emphasis of portal brightness

2.1.4 洞门线型

洞门线型有直线、曲线、不规则或组合形式。直线设计凸显简洁、均衡、稳重,结构感强;曲线形式更显轻柔、优雅,动感,代表洞门有削竹式、环框式等;直、曲混合式洞门主次分明,顺势而为,直观特征依赖组合的完美程度,如图7所示;喇叭口式洞门呈不规则形,更具灵活、韵律和强特色感。

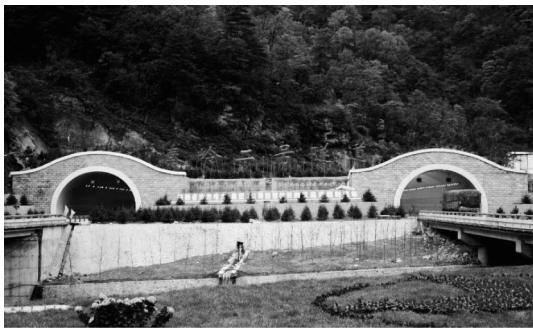


图 7 秦岭二号隧道洞口

Fig. 7 Entrance of Qinling NO.2 Tunnel

2.2 洞口绿化

绿化是隧道洞口景观主要构景元素之一,通过坡面生态防护和坡面栽植绿化,达到生态修复和美

化环境的目 的,包括洞口前区绿化和边仰坡绿化(图8)。



a 南腊隧道洞口 b 蝴蝶兰隧道洞口

图 8 洞口绿化

Fig. 8 Greening of entrance

2.2.1 洞口前区绿化

洞口前区绿化是针对分离式隧道而言,包含洞间山体绿化和前区绿化。洞间山体绿化尽量保留原有自然植被,破坏之处采用乔木、灌木恢复;前区绿化根据场地条件,采用乔、灌列植或乔、灌木组合的方式,立地条件良好时建议种植大规格景观树点缀,营造兴奋点^[23]。

2.2.2 边坡及仰坡绿化

在充分考虑坡体自身结构稳定的前提下,结合坡高、坡率、岩性等工程特点,选择合理的坡面防护和栽植绿化措施。坡面防护措施有:直接喷播、挂网绿化、喷有机材绿化、土袋绿化、植生袋、土工格室等^[10],常采用“乔、灌、藤、草、花”相结合的模式。

此外,洞口绿化在减少洞口内外照度差和缓解驾驶人心理紧张感方面发挥显著作用。对于路堑式、半路堑式或不填不挖式隧道,有绿化相比较无绿化,洞口内外照度差可减小 60 % 左右;随着洞口绿化程度的加深,驾驶人进出隧道时的心率增长率呈现整体下降趋势,驾驶人的心理负荷显著降低^[12]。

综合考虑洞口绿化的形式美及功能效用,给出隧道洞口绿化植物选择及建议^[23-25],见表 2。

表 2 隧道洞口绿化植物选择及建议

Tab. 2 Selections and suggestions for green plants at tunnel entrance

位置	植物种类	建议
洞间	乔、灌木	配置具备一定吸收强光能力的植物。
洞口前区	乔、灌列植或乔、灌木	从隧道洞口至远离洞口的方向,有序布设,植物高度由高到低,植株间距由密集到稀疏、由遮光到通视,总体遵循“种植间距逐渐增大、种植高度逐渐降低”的原则。
坡脚	乔木	①洞口附近适合栽植大冠径、枝叶茂密、遮光性强的 高大乔木; ②边坡株距随靠近洞口方向逐渐减小。
边仰坡	乔、灌木、草、花卉、藤本	①边坡采用乔木到中灌木、矮灌木逐渐过渡的形式,增加生态多样性; ②仰坡绿化植物颜色应下深上浅,驾驶人视野范围内用反射系数较低、亮度较低的深色系植物,视野范围之外用浅色系植物; ③采用喷播防护时,一个坡面选用灌木(或花卉)种子为 2~3 种; ④当坡面被喷混凝土封闭时,辅以藤本植物进行遮蔽; ⑤常春藤的亮度相对较低,对阳光的反射率最低,在气候和水文条件允许的条件下,使用该种植物对公路隧道进行绿化,将使照度要求降低 50 %。

2.3 诱导系统

2.3.1 洞口铭牌

洞口铭牌设计是隧道洞口景观设计的重要一环,常见形式有:交通指示牌、洞前置石或雕塑、仰坡上方分离大字、洞口上方铭牌、洞口中间铭牌。驾驶人在接近洞门时要完成对洞口铭牌的感知和理解,因此,铭牌设计要易于辨识,设计风格结合地域文化、民俗风情、自然环境和稳定性等因素。基于以上考虑,从隧道命名、铭牌位置以及文字的视认性三个方面给出洞口铭牌的设计建议^[21],见表3。

2.3.2 小品建筑

小品建筑是丰富、美化洞口环境,并具有典型景观效果的空间塑造。在造型、颜色、材质方面具有可欣赏性,借助色彩与风格的搭配,衬托周围环境,体现地域文化和民俗风情,是隧道洞口景观设计的点睛之笔。常见类型有:壁画、雕塑、浮雕、假山置石等。

小品建筑具备信息导向作用,能为司乘人员提供诸如隧道名称、环境、导向、警告等信息。通常位于中央隔离带、端墙面以及洞口前方一定距离,驾驶人对小品建筑的感知过程不由得降低了行车速度。小品建筑在色彩和造型设计上不宜繁复,雕塑、假山置石等宜就地取材,也可运用钢筋混凝土仿造天然石材,或选择可再生、可回收再利用的材料延长小品建筑的使用寿命。

2.3.3 广告牌及标语

广告牌及标语的设置与周围环境形成强烈对比,容易引起驾驶人分心而造成不可忽略的交通安全事故^[26-29]。位于洞口附近的广告牌及标语在视野范围内占有一定的面积比例,对洞外亮度有增加功效,为了减小其对洞口亮度的影响,广告牌要尽量远离主视野范围,且采用深暗色材质,不进行镀膜

处理^[18, 30]。

2.3.4 交通标志、立面标记、防护设施

交通标志考虑可见性和易读性,根据信息长度、字体大小、笔画粗细以及行驶速度与视认距离之间的关系提出相应设计。洞口前的交通标志尽量简单,标志出隧长、限速、警示即可。洞口立面标记对驾驶人起到警示作用,亮色设置增加了驾驶人心理紧张感,提高驾驶注意力,以红色最佳,黄色次之,绿色和灰色等暗色系的影响不显著^[31]。交通标志、立面标记以及护栏、防撞桶等设施具有视线诱导功能,通过调整标志物的颜色、亮度和对比度,可以避免驾驶人出现视错觉,降低隧道交通安全隐患^[32]。

2.3.5 彩色路面

路面是视野范围内面积占比最大的构景元素,彩色路面的主要特征体现在路面的色彩和铺筑样式。公路隧道洞口段路面色彩主要有红色、黄色、蓝色、绿色、白色(水泥路面)和黑色(沥青混凝土路面),各色彩对驾驶人产生的心理效应以及相应的驾驶行为特征如表4所示。

彩色路面在隧道洞口处的常见铺筑样式分为:块状、长形、条形以及条块相接,如图9所示。

彩色路面作为一种特殊的交通信号,可发挥警示和减速的诱导功能,以红色和黄色路面效果最优^[33]。驾驶人在黄色路面行驶时的扫视幅度大于红色路面,扫视幅度越大,说明驾驶人越紧张,警惕性越高,并伴有减速操作。因此,隧道入口段铺筑黄色路面效果更优,建议出口段铺筑红色路面^[34-35]。

加入抗滑材料的彩色路面,形成彩色抗滑薄层,铺筑在隧道洞口段,增加路面的摩擦系数,减小刹车距离,对避免恶劣交通事故发挥积极作用^[36]。彩色路面的设置还需要考虑隧道洞口亮度和铺筑长度。洞口外路面颜色不宜太鲜艳,形式不宜太复杂^[30];彩色路面的铺筑

表3 隧道洞口铭牌设计事项及建议

Tab. 3 Design items and suggestions for tunnel nameplate

设计事项	建议	
隧道命名	根据地理位置、历史文化等要素确定; 同一区域内要求“一隧一名、名实相符”; 隧道名称简洁、易记,建议不超过6字。	
位置	优先选择洞口前方一定距离; 当位于洞口附近时,提高文字的视认性,使驾驶人在距离洞口较远处就能识别。	
视认性	字体	使用易于辨别的楷书、行楷,酌情使用行书、隶书,避免使用金文、大小篆和草书等。
	高宽比	尽量使用高宽比为1:1的汉字。
	字号	依据行车速度确定字号; 加大字号,使隧道铭牌在远处能被识别。
	字频	优先使用高、中频汉字。
	笔画数	使用笔画数较少的简洁字。
颜色	字体颜色醒目,与背景有一定对比度; 以红色、金色为主,此外还有黑色、白色等。	

表 4 色彩在路面应用的引导特征

Tab.4 Guiding feature of colors applied in pavement

类别	心理效应	驾驶行为
— 红	紧张、危险	警惕、减速
— 黄	明亮、警告	警惕、控制车速
— 蓝	平静、指示	正常行驶
— 绿	舒适、可靠	正常或加速行驶
— 白	安静、安全	正常行驶
— 黑	深沉、注意	正常行驶

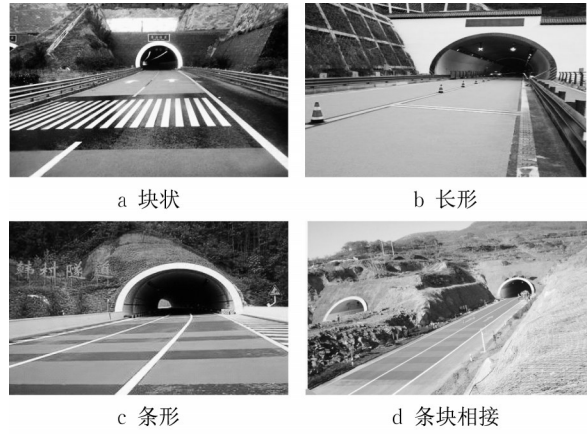


图 9 彩色路面铺装样式

Fig. 9 Pattern of colored pavement

长度要满足驾驶人从感知到采取减速措施所需的反应时间,建议不少于一个停车视距。同时,彩色路面+黄色或白色鱼刺型减速标线的综合设计方案更能够引起驾驶人的警惕,降低隧道洞口交通事故风险^[37]。

总体而言,洞门类型决定了隧道洞口景观的整

体布局,不同洞门类型强调的构景元素也有所差异。表 5~表 7 列举了我国公路隧道洞口景观典型案例。

表 5 墙式洞门构景元素

Tab. 5 Landscape elements of wall portal

隧道名称	端墙形式	洞门装饰及肌理	边仰坡	洞口前区	洞口铭牌	诱导系统
巴独隧道 (图 5a)	台阶	青山壁画	乔、灌木	—	洞口上方绿色字体	黄色路面,洞口立面标记采用黄黑反光膜,护栏上设有反光片
东山隧道 (图 5b)	直线	灰色壁画,城墙造型			洞口上方红底黄色字体	洞口立面标记为白色
巴勒根达板隧道 (图 6a)	直线	灰白色贴面	草本	草本种植	洞口上方金色字体	洞口立面标记为白色,防护栏颜色为红白相接
石地坪 1 号隧道 (图 6b)	台阶+翼墙式	浅灰色贴面,端墙顶部红色装饰	草本	草本种植	洞口上方黑底黄色字体	洞口立面标记为白色
秦岭二号隧道 (图 7)	曲线	浅灰色贴面	乔、灌木	灌列植、草、花	洞间红色分离大字	洞口立面标记为白色
南腊隧道 (图 8a)	直线	浅黄色壁画,端墙顶部体现傣族建筑文化	乔木	灌、草、花结合,乔木点缀	洞间红色字体	红色条形彩色路面,洞口立面标记拱部为蓝白相间图案,两侧边墙为黄黑反光膜
板仑隧道 (图 10b)	直线	蓝色壁画复合水泥浮雕		灌列植与草本种植	位于洞口上方采用人造砂岩设置红色字体	洞门上方标语牌,红色长形彩色路面,洞口立面标记采用黄黑反光膜
雁门关隧道 (图 10a)	柱式	灰白色贴面,城墙造型	仰坡采用艺术装饰	灌列植与草本种植	洞间红色字体	洞口立面标记为白色
二郎山隧道	城堡式	灰色贴面,端墙顶部体现藏族建筑文化	乔木	灌木与草本种植	洞间黄色字体	红色块状彩色路面、洞口立面标记采用黄黑反光膜、洞前雕塑
秦岭终南山隧道	直线	仿石纹贴面	高大乔木,颜色上浅下深	乔木与灌木呈密集分布	洞间红色字体	洞口立面标记采用黄黑反光膜

综合以上典型案例,可以看出:墙式洞门强调洞门外观,借助端墙形式及洞门装饰的整体表现,体现地域环境、历史文化、民俗风情以及设计师的审美观念和设计意图,实现人造景观和地域文化的有机结

合;突出式洞门将洞口结构作为与周围环境相协调的景观建筑,通过洞口绿化实现对生态环境的保护与恢复,是目前公路隧道洞门设计的主流;特殊式洞门强调洞门形式,借助建筑结构本身特点对洞口进

表6 突出式洞门构景元素

Tab. 6 Landscape elements of protruding portal

隧道名称	立体形状	边仰坡绿化	洞口前区绿化	洞口铭牌	引导系统
新疆赛里木湖隧道 (图3a)	削竹式	草本恢复		洞间白色字体	红色长形彩色路面、洞口立面标记为黄色
乌鞘岭四号隧道 (图3b)	喇叭口式	保持原有生态	草本	洞间白底绿色字体	设置信号灯
蝴蝶兰隧道 (图8b)	环框式	乔木、灌木	灌列植	洞口前方置石	洞口立面标记为白色
龙岗隧道	削竹式	草本为主,乔、灌木点缀	乔木、草本	洞口前方置石、交通指示牌	洞口立面标记采用黄黑反光膜,设置信号灯
野象谷隧道	环框式	乔木、灌木	乔木、草本	铭牌与雕塑结合	洞口环框灰色贴膜,傣族公主帽形状洞门造型
那圩隧道	削竹式	藤本、灌木	灌木、草本组合,乔木点缀	洞前铭石	洞口立面标记采用黄黑反光膜
包家山隧道	削竹式	乔木、灌木	灌木、草本、花卉	仰坡红色分离大字、洞口前方置石	洞口立面标记为白色
青岛胶州湾隧道	削竹式	乔木、灌木	灌木、草本、花卉	仰坡红色分离大字	洞口立面标记为条纹肌理

表7 特殊式洞门构景元素

Tab. 7 Landscape elements of special portal

隧道名称	洞门形式	边仰坡绿化	洞口前区绿化	洞口铭牌	引导系统
南京老山隧道 (图4a)	棚洞式	乔木、灌木	灌木、草本	—	—
上海长江隧道 (图4b)	曲线遮光棚	灌木、草本	灌列植	洞口上方红色字体	路面标识
老虎山隧道 (图11b)	棚洞式	乔木、灌木	灌木、花卉	洞前置石,洞口上方红色字体	—
厦门翔安隧道	曲线遮光棚	坡脚为灌木,坡面采用高大乔木	灌木和草本搭配,乔木点缀	洞前设置雕塑,洞门上方红色字体	洞口立面标记为白色

行减光处理,调节入口处明暗过渡,缓和驾驶人高速进入洞内暗环境下的心理紧张感。

3 “景”元素的构景效果

各构景元素经过细部处理和空间组合形成具有感知和意境的空间形态,达到消除疲劳、视觉适应、文化展示、地标作用和环境保护的构景效果。

3.1 消除疲劳

隧道洞口景观是功能与情感、技术与艺术相结合后物化为人们生活方式的载体,个性化洞口景观设计可增加使用者的兴趣点,给人美的享受,使心情得以放松,消除疲劳。隧道洞口景观采用艺术表现手法添加趣味性和活力感,避免经过千篇一律的洞口时产生疲惫甚至晕厥反应。例如,雁门关隧道洞门(图10a)恰到好处的色彩和造型设计呈现出气势磅礴的洞口环境,给驾驶人耳目一新的视觉冲击;板仑隧道洞门(图10b)采用壁画和浮雕装饰,展现历史典故,引人入胜,给驾驶人带来轻松和愉悦感。

3.2 视觉适应

隧道出现的“黑洞”和“白框”效应是引起驾驶人



a 雁门关隧道洞口

b 板仑隧道洞口

图10 艺术装饰洞门

Fig. 10 Portal with art decoration

不良生理和心理反应的主要原因,极易诱发不良驾驶行为,引发交通事故。通常借助洞门结构和绿化对洞口进行减光处理,降低洞口内外明暗差异,符合驾驶人视觉适应需求。遮光棚式洞门(图11a)和棚洞式洞门(图11b)利用建筑结构自身特点,合理设置减光格栅,减缓人眼因光线剧烈变化引起的不适感和眩光问题。洞口绿化(图12)借助植物本身的低反射率降低洞口亮度,形成洞口照度的“阶梯式”过渡,是一种既生态且经济有效的减光措施。

3.3 文化展示

隧道洞口是隧道工程的唯一外露构筑物,可作为展示和传承地域文化的载体,赋予隧道洞口景观文化思想与内涵。图2所示为西藏嘎拉山隧道,在



a 狮子山隧道洞口

b 老虎山隧道洞口

图11 利用洞门结构减光

Fig. 11 Light reduction relying on portal structure



a 龙岗隧道洞口

b 雪峰山隧道洞口

图12 利用洞口绿化减光

Fig. 12 Light reduction relying on entrance greening

建筑设计上采用多层建筑结构,洞门色彩为符合青藏文化的白色、红色和黄色,略带宗教色彩,整体风格古朴粗犷。图13a所示为二郎山隧道,其厚重、严肃、雄壮的洞门形态和建筑风格彰显了川藏地区独特的民族文化。图13b所示为北京居庸关隧道,隧道洞门形式为方形敌楼,形态沉重、个性突出,整齐、流畅的墙体线条与长城风景相映成辉,彰显燕赵文化。此外,厦门翔安隧道(图13c)、八庙隧道(图13d)等均赋予洞口景观文化内涵,体现人文与自然的有机融合。



a 二郎山隧道洞口

b 居庸关隧道洞口



c 厦门翔安隧道洞口

d 八庙隧道洞口

图13 文化展示

Fig. 13 Display of culture

3.4 地标作用

隧道洞口常作为山川、河流、历史名迹、村寨和风景名胜区的参考地标。隧道名称通常以风景名胜或特殊景观进行命名,采用景区特色元素进行洞口

装扮,这是对景区的一种无形宣传。野象谷隧道(图14a)位于云南西双版纳自然保护区,洞门的弧形设计犹如傣族公主帽,边仰坡采用当地乔木+灌木的绿植模式,与周围热带雨林背景相融,整个画面散发出西双版纳独特的傣族文化,为驾乘人员呈现了一道靓丽且极富韵味的地域风情。清水沟一号隧道洞门(图14b)采用人工塑石砌筑,仿石林地貌的喀斯特造型,不仅给旅途增添意境,还起到地标作用,指示旅途人员石林就在前方。



a 野象谷隧道洞口

b 清水沟一号隧道洞口

图14 地标作用

Fig. 14 Role of landmark

3.5 环境保护

隧道洞口景观设计将更多精力放在对植被的保护与恢复,将“人为元素”融入自然环境,形成对生态环境的有效保护,并取得持续型生态效应,这符合公路隧道绿色发展理念(图15)。



a 那圩隧道洞口

b 包家山隧道洞口



c 青岛胶州湾隧道洞口

d 秦岭终南山隧道洞口

图15 环境保护

Fig. 15 Environmental protection

4 结论及展望

基于对隧道洞口景观现状的研究,本文从洞门外观、洞口绿化、诱导系统三个方面梳理了景观元素的构成,分析了构景元素的具体表现形式和研究内容,给出了相应的设计建议。但在目前缺乏成熟的设计方法和评价体系的背景下,公路隧道洞口景观在诸多方面仍需要进一步研究,以下对洞口景观设

计内容和研究方法提出几点建议与思考:

(1)驾驶人在隧道洞口段进行了较为剧烈的视觉和心理适应过程,有必要建立构景元素与驾驶人心理状态指标之间量化关系,以此作为隧道洞口景观安全性和舒适性的评价依据。

(2)隧道洞口作为展现文化历史的窗口,赋予洞口景观思想和内涵,可以提升公路景观的文化品位,激发人们的想象,创造出一种宁静安详的氛围,但是要把握文化设计尺度,讲究文化环境的有序性。

(3)公路隧道在运营和维护过程中最突出的问题是交通安全和照明装置的能源消耗,景观设计与这些问题密切相关。因此,从交通安全、照明能耗以及建设成本等方面对构景元素进行评估和设计有助于推动公路隧道的可持续发展。

(4)隧道洞口景观设计兼具形式、色彩、比例搭配等具体表现和文化性、民族性等抽象内涵的双重思考。利用心理物理学,综合静态和动态两种视觉特性,分别从环境协调性和司乘人员敏感性进行量化分析,优化构景元素设计,提高公路隧道洞口景观质量。

作者贡献声明:

刘佳:论文构思及撰写。

何乔:提出论文框架与论文修改。

苏恩杰:提供研究思路,论文修改。

同月苹:协助完成论文核实。

参考文献:

- [1] 魏中华. 公路景观设计理论研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2005.
WEI Zhonghua. Research on highway landscape design theory[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2005.
- [2] YE F, HE C, WANG S M, *et al.* Landscape design of mountain highway tunnel portals in China[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2012, 29: 52.
- [3] 关向群. 隧道洞口景观设计实用方法的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2004.
GUAN Xiangqun. The research of a practical method of aesthetics design in the tunnel entrance[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2004.
- [4] 熊光荣. 谈谈隧道洞口工程的设计问题[J]. 铁道工程学报, 1991(2): 67.
XIONG Guangrong. Discussion on design of tunnel entrance engineering[J]. Journal of Railway Engineering Society, 1991(2): 67.
- [5] 关宝树. 隧道工程设计要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
GUAN Baoshu. Key points in tunnel designing[M]. Beijing: China Communications Press, 2003.
- [6] 熊世龙. 浅议公路隧道洞门设计[J]. 公路, 1999(10): 22.
XIONG Shilong. Discussion on the design of highway tunnel portal [J]. Highway, 1999(10): 22.
- [7] 叶飞, 何川, 王士民, 等. 公路隧道洞口景观的构造与分析[J]. 现代隧道技术, 2009, 46(2): 15.
YE Fei, HE Chuan, WANG Shimin, *et al.* On landscape design of highway tunnel portals[J]. Modern Tunnelling Technology, 2009, 46(2): 15.
- [8] 贾玲利, 赵东平. 隧道洞口景观现状及发展趋势研究[J]. 土木工程学报, 2008(1): 88.
JIA Lingli, ZHAO Dongping. A Study on the trend of development and present state of tunnel entrance landscaping[J]. China Civil Engineering Journal, 2008(1): 88.
- [9] 贾玲利, 赵东平. 隧道洞口绿色景观及其评价体系研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26(9): 154.
JIA Lingli, ZHAO Dongping. Study on green tunnel entrance landscape and its evaluation system[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(9): 154.
- [10] 黎明. 高速公路隧道洞口景观艺术设计研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2008.
LI Ming. Study on landscape art design of highway tunnel entrance [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2008.
- [11] DUAN Y, WEI Y, SHANG T, *et al.* Analysis of the color on the tunnel portal based on the drivers' heart rate [C]// Materials Science and Engineering. [S.l.]: IOP Publishing, 2019, 688(4): 044016-044022.
- [12] 申振武. 基于驾驶员心理的高速公路隧道口绿化研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
SHEN Zhenwu. Research on the impact of virescence on driver's psychology at freeway tunnel portal [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2016.
- [13] 叶飞, 应凯臣, 苏恩杰, 等. 基于眼动指标的公路隧道洞口景观设计舒适性及安全性评价[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021, 49(2): 218.
YE Fei, YING Kaichen, SU Enjie, *et al.* Comfort and safety evaluation of tunnel portal landscape design based on eye movement index [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2021, 49(2): 218.
- [14] 叶飞, 苏恩杰, 梁晓明, 等. 公路隧道景观设计现状和思考[J]. 中国公路学报, 2022, 35(1): 23.
YE Fei, SU Enjie, LIANG Xiaoming, *et al.* Review and thinking on landscape design of highway tunnel [J]. China Journal of Highway and Transport, 2022, 35(1): 23.
- [15] 关向群. 隧道洞口景观设计研究[J]. 土木工程学报, 2003(10): 36.
GUAN Xiangqun. Study of landscape design at tunnel gate[J]. China Civil Engineering Journal, 2003(10): 36.
- [16] 包逸帆, 王明年, 秦鹏程, 等. 遮阳棚对隧道进出口明暗适应的影响规律研究[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(1): 111.
BAO Yifan, WANG Mingnian, QIN Pengcheng, *et al.* On influence of the shading shed on the driver's light-dark adaptation at tunnel entrances and exits[J]. Modern Tunnelling Technology,

- 2022, 59(1): 111.
- [17] 李英涛, 程国柱. 公路隧道出入口减光格栅段合理长度研究[J]. 公路工程, 2009, 34(5): 13.
LI Yingtao, CHENG Guozhu. Reasonable length of glare proof grille section at exit and entrance of highway tunnel[J]. Highway Engineering, 2009, 34(5): 13.
- [18] 潘贝贝, 翁季. 公路隧道洞口减光措施的研究综述[J]. 灯与照明, 2013, 37(3): 18.
PAN Beibei, WENG Ji. Research review of light reduction measures applied on highway tunnel portals[J]. Light & Lighting, 2013, 37(3): 18.
- [19] 公安部交通管理局. 2012年中华人民共和国道路交通事故统计年报[R]. 北京: 人民交通出版社, 2013
Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. 2012 Statistical annual report on road traffic accidents of the People's Republic of China[R]. Beijing: China Communications Press, 2013.
- [20] 中华人民共和国交通运输部. 公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施: JTG D70/2—2014[S]. 重庆: 人民交通出版社, 2014.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Specifications for design of highway tunnels. Section 2: Traffic engineering and affiliated facilities: TG D70/2—2014 [S]. Chongqing: China Communications Press, 2014.
- [21] 苑郁林. 以驾驶人的心理和生理特性探讨山区高速公路隧道洞口的景观设计[J]. 现代隧道技术, 2014, 51(3): 30.
YUAN Yulin. On the landscape design of mountain highway tunnel portals considering the psychological and physiological behaviors of a driver[J]. Modern Tunnelling Technology, 2014, 51(3): 30.
- [22] FAN Y H. Color design of urban road landscape[C]// Advanced Materials Research.[S.l.]: Trans Tech Publications Ltd, 2014, 869: 53-56.
- [23] 陈芳, 周智海. 高速公路隧道洞口绿化设计[J]. 公路与汽运, 2015(3): 242.
CHEN Fang, ZHOU Zhihai. Greening design at the entrance of expressway tunnel[J]. Highways & Automotive Applications, 2015(3): 242.
- [24] PEÑA-GARCÍA A, LÓPEZ J C, GRINDLAY A L. Decrease of energy demands of lighting installations in road tunnels based in the forestation of portal surroundings with climbing plants [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2015, 46:111.
- [25] GARCÍA-TRENAS T, LÓPEZ J C, PEÑA-GARCÍA A. Proposal to forest Alpine tunnels surroundings to enhance energy savings from the lighting installations. Towards a standard procedure[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2018, 78: 1.
- [26] SISIOPIKU V, HESTER D, GAN A, *et al*. Digital roadside advertising and traffic safety[C]// ATINER's Conference Paper Series. Athens, Greece: Athens Institute for Education and Research, 2013:10-18.
- [27] IZADPANAH P, OMRANI R, KOO S, *et al*. Effect of static electronic advertising signs on road safety: An experimental case study[J]. Journal of Orthopaedic Trauma, 2014, 28: S33.
- [28] WALLACE B. External-to-vehicle driver distraction [M]. Edinburgh: Scottish Executive Social Research, 2003.
- [29] DECKER J S, STANNARD S J, MCMANUS B, *et al*. The impact of billboards on driver visual behavior: A systematic literature review[J]. Traffic Injury Prevention, 2015, 16(3): 234.
- [30] CHEN F, YANG Y. Influence of tunnel entrance environment on driver's vision and physiology in mountainous expressway[C]// Earth and Environmental Science. [S.l.]:IOP Publishing, 2019, 295(4): 042138-042143.
- [31] 陶盼盼, 尚婷, 张恒. 高速公路隧道洞口景观色彩对驾驶员心率的影响[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(14): 219.
TAO Panpan, SHANG Ting, ZHANG Heng. Impact of the landscape color on expressway tunnel portal on driver heart rate[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(14): 219.
- [32] 杜志刚, 徐弯弯, 向一鸣. 基于视线诱导的公路隧道光环境优化研究框架[J]. 中国公路学报, 2018, 31(4): 122.
DU Zhigang, XU Wanwan, XIANG Yiming. Research on light environment improvement framework of highway tunnel based on visual guidance [J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(4): 122.
- [33] 卓曦, 唐璐璐, 王家主, 等. 彩色路面环境下隧道视觉诱导性评价[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2019, 47(3): 417.
ZHUO Xi, TANG Lulu, WANG Jiazhu, *et al*. Visual inductivity evaluation for tunnels with colored pavements [J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition), 2019, 47(3): 417.
- [34] 袁景玉, 刘晓健, 姚胜, 等. 基于眼动特征的高速公路彩色路面安全性[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(34): 14278.
YUAN Jingyu, LIU Xiaojian, YAO Sheng, *et al*. Highway safety of color pavement based on eye movement characteristics [J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(34): 14278.
- [35] 袁景玉, 刘晓健, 姚胜, 等. 高速公路隧道进出口彩色路面视觉特征研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, 40(9): 60.
YUAN Jingyu, LIU Xiaojian, YAO Sheng, *et al*. Visual characteristic of colored pavement at entrance and exit of expressway tunnel[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2021, 40(9): 60.
- [36] 彭飞. 彩色防滑路面在高速公路隧道进出口的应用[J]. 中国公路, 2021(5): 116.
PENG Fei. The application of colored anti-skid pavement in the entrance and exit of expressway tunnel[J]. China Highway, 2021(5): 116.
- [37] 胡晓. 越江隧道入口段优化设计[J]. 综合运输, 2020, 42(9): 106.
HU Xiao. Optimal design of river crossing tunnel entrance section [J]. China Transportation Review, 2020, 42(9): 106.